

黔西南水银洞层控超大型卡林型金矿床 成矿模式及成矿预测研究

夏勇¹⁾, 张瑜¹⁾, 苏文超¹⁾, 陶琰¹⁾, 张兴春¹⁾, 刘建中²⁾, 邓一明³⁾

1) 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学国家重点实验室, 贵阳, 550002;

2) 贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队, 贵阳, 550018;

3) 贵州紫金矿业股份有限公司, 贵州贞丰, 562200

内容提要:贵州省贞丰县水银洞金矿是一个近年来发现的、具较高品位、资源量已达超大型的层控卡林型金矿床。矿床受灰家堡背斜核部构造和有利岩性组合控制。金矿床具有低温成矿特征, 出现去碳酸盐化、硅化、黄铁矿化和粘土化等围岩蚀变, 特征的 Au-Ag-Hg-Tl 元素组合。成矿流体具有低温低盐度和较高压力和富挥发份的特点, 均一温度在 220℃左右, 盐度在 6% NaCl 左右, 压力为 160±40 MPa。成矿物质主要来自深部。高压和富挥发份促使成矿流体从深部迁移至控矿背斜核部, 并由于构造作用挥发份的快速逃逸, 压力骤降, 促使流体快速卸载, 金快速沉淀, 形成水银洞超大型层控卡林型金矿床。根据找矿标志及成矿和找矿模型, 进行了成矿预测研究并取得很好效果, 使水银洞金矿新增储量数十吨, 并且预示该类型金矿找矿远景巨大, 已经成为黔西南第一个超大型层控卡林型金矿床。

关键词:层控卡林型金矿床; 成矿模式; 成矿预测; 水银洞; 黔西南

黔西南地区作为我国最早发现的卡林型金矿地区, 是滇黔桂“金三角”的最重要的组成部分, 该区卡林型金矿床, 就其产状、形态和构造控制可分为断裂型和层控两大类型, 断裂型金矿如: 烂泥沟、丫他、板其、紫木凶(上部矿体)等金矿床, 金矿多产于高角度压扭性断裂中, 赋矿层位一般为中、下三叠统, 容矿岩石主要是泥质粉砂岩和粉砂质泥岩; 层控金矿如: 水银洞、太平洞、紫木凶(下部矿体)、戈塘、泥堡等金矿床, 金矿主要产于上下二叠统岩溶间断面层间破碎带和上二叠统中, 矿床多为埋藏较深的隐伏矿, 矿体呈层状、似层状、透镜状顺层展布, 具多层分布特征, 容矿岩石主要是不纯的生物碎屑灰岩和富含有机质煤系建造中的碳酸盐岩等, 背斜控矿明显。水银洞金矿是本区最重要的层控卡林型金矿, 通过这几年对其深入研究, 加深了本区层控卡林型金矿成矿机制的认识, 推动了成矿预测和找矿勘查, 使水银洞金矿床成为超大型层控卡林型金矿, 也带动了区域上层控卡林型金矿床找矿勘查的突破。

1 矿床基本地质特征

贵州省贞丰县水银洞金矿是一个近年来发现的、具较高品位、资源量已达超大型的层控卡林型金矿床。该矿床地处扬子准地台西南缘与华南褶皱系右江褶皱带西延部分的接合部位的灰家堡背斜东段, 与紫木凶大型金矿床、太平洞大型金矿床一同构成了灰家堡金矿带(图 1)。矿床受灰家堡背斜核部构造和有利岩性组合控制。矿体产于灰家堡背斜轴部附近 300 m 范围内。矿体呈层状、似层状、透镜状产出, 产状与岩层产状一致, 走向上具波状起伏向东倾没、空间上具有多个矿体上下排布的特点。矿床容矿地层有二: 一是构造蚀变体(Sbt): 产于茅口组不整合接触面之上, 为一套强蚀变的构造角砾岩。二是龙潭组(P₃l): 为一套煤系地层, 细碎屑岩含炭质粘土岩及煤线, 之中夹生物屑灰岩, 矿化岩石主要为硅化白云石化生物碎屑灰岩(图 2)。围岩蚀变主要有去碳酸盐化、硅化、黄铁矿化、次有毒砂化、雄(雌)黄化、粘土化和萤石化等热液蚀变。其中硅化、黄铁矿化(伴有毒砂化)与金矿关系极为密切。

注: 本文为国家科技支撑计划课题(编号 2006BAB01A13)和矿床地球化学国家重点实验室自主研究课题(矿研专 2008.3-2)资助成果。

收稿日期: 2009-07-01; 改回日期: 2009-09-17; 责任编辑: 周健。

作者简介: 夏勇, 男, 1960年生。研究员。Email: xiayong@vip.gyig.ac.cn。

©1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

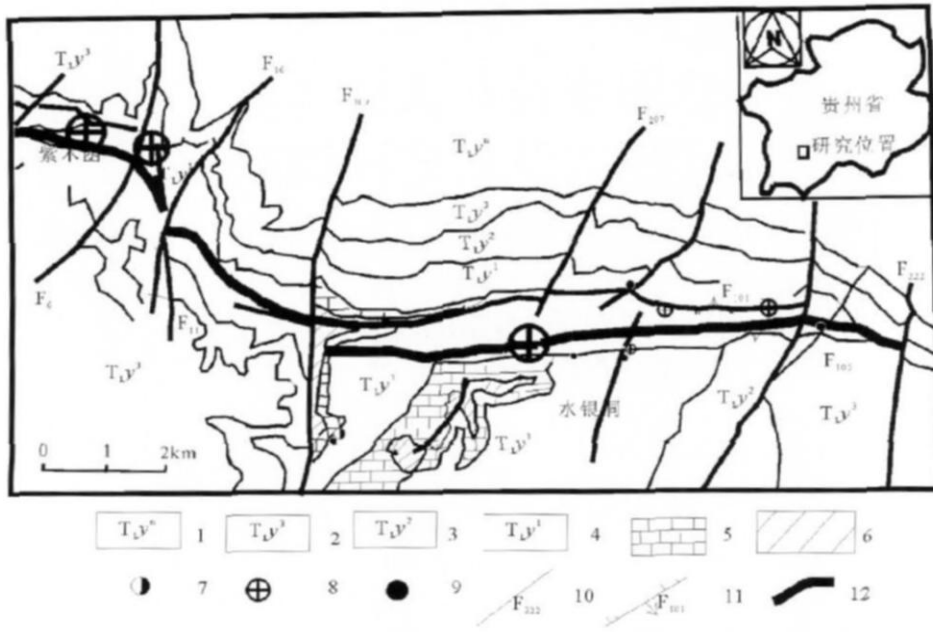


图 1 黔西南水银洞层控卡林型金矿床地质图 (据夏勇, 2005; Su 等 2009)

Fig. 1 Geologic plan of the Shuiyindong stratabound Carlin-type gold deposit in the southwestern Guizhou (after Xia Yong, 2005; Su et al., 2009)

- 1—永宁镇组; 2—夜郎组三段; 3—夜郎组二段; 4—夜郎组一段; 5—长兴组和大隆组; 6—龙潭组; 7—铊-汞矿床; 8—金矿床; 9—汞矿床; 10—正断层; 11—逆断层; 12—背斜轴
- 1—Yonglinzhen Formation; 2—third unit of Yelang Formation; 3—second unit of Yelang Formation; 4—first unit of Yelang Formation; 5—Changxing and Dalong formations; 6—Longtan Formation; 7—thallium-mercury deposit; 8—gold deposit; 9—mercury deposit; 10—normal fault and its number; 11—reverse fault and its number; 12—axis of anticline

矿石中金属矿物有黄铁矿、毒砂、赤铁矿、辉锑矿(偶见)、辰砂(偶见)、雄黄(偶见)、自然金(偶见, 为本研究首次发现)(苏文超等, 2006)。脉石矿物有石英、白云石、方解石、水云母、绢云母、高岭石、有机炭。从矿石矿物成分特征和物相分析可知, 黄铁矿和毒砂是金的载体矿物, 并与辉锑矿、辰砂密切共生, 为同一成矿作用之产物(夏勇, 2005)。

2 矿床地球化学特征

2.1 微量元素地球化学

选择各种不同岩石类型中蚀变较弱或未蚀变的样品微量元素组成与含矿岩系同类岩石微量元素组成对比(表 1), 在含矿岩系中 Au、As、Cu、Sb、Tl、Pb 相对同类未蚀变岩石有显著增加, 反映矿化热液蚀变中带入。Ti、Sc、Nb、Ta、Zr、Hf、V、Cr、Co 及 Sn、Ga、Ge、Cd、Rb、Cs、Ba、Mn、Zn、Th、REE 变化不大, 根据元素地球化学性质分析, 前一部分为相对惰性元素, 基本上不受热液活动改造, 后一部分元素虽有一定的热液活动性, 但叠加改造的影响较小。

(以未蚀变样品为参考)相差并不大, 其变化远远低于矿化蚀变作用所造成的差异, 从表 1 比值可以更清晰的看到, Au、As、Cu、Sb、Tl 在矿化岩石各类岩石平均值与同类未蚀变岩石的比值高达数十倍到上百倍, 其中, Au、As、Tl 最高, 可以认为, 这些元素在矿化岩系中的含量基本上来自于矿化热液活动的影响, 在原岩中的原始含量相对而言可以忽略不计, 是水银洞金矿最基本的热液活动元素。其比值可以作为衡量成矿热液蚀变强度的基本参数。As、Cu、Sb、Tl 特别是 As 可以作为找矿指示元素。

2.2 硫铅同位素地球化学

分析表明(表 2)矿石中黄铁矿的硫同位素组成变化很大, $\delta^{34}S$ 分析值 +27.17‰ ~ -8.64‰, 极差值为 35.81‰, 离散度为高度分散, 可能除显示出沉积成因硫的特征外, 有其他硫源的加入。对黄铁矿单矿物电镜分析表明(图 3), 矿石中黄铁矿包括草莓状(不规则状)黄铁矿粉晶及具砷黄铁矿表层(热液成因)和草莓状(不规则状)黄铁矿内核(原生沉积成因)的环带状黄铁矿, 硫同位素值只代表了原生沉积成因和热液成因黄铁矿的硫同位素的混合结果,

Au、As、Cu、Sb、Tl 在各类岩石中的原始含量

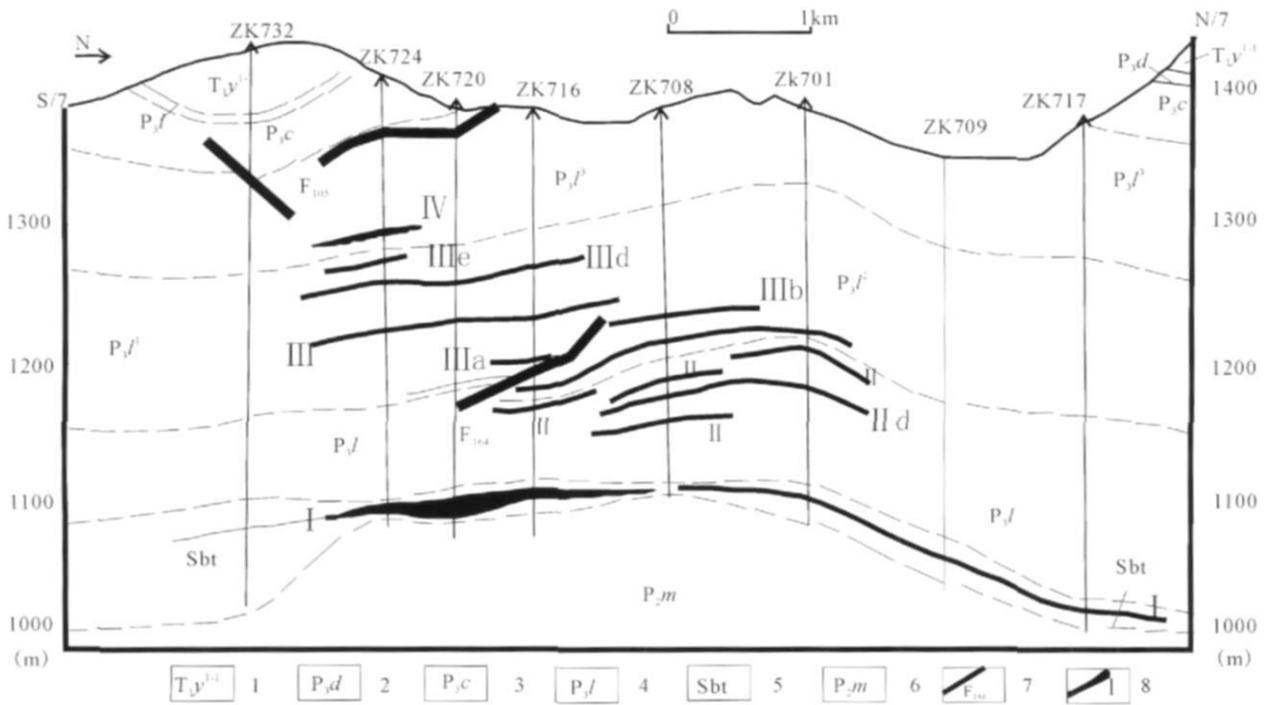


图 2 黔西南水银洞层控卡林型金矿床剖面图(据夏勇, 2005; Su 等, 2009)

Fig. 2 Cross section of the Shuiyindong stratabound Carlin-type gold deposit in the southwestern Guizhou (after Xia Yong, 2005; Su et al., 2009)

1—夜郎组一段; 2—大隆组; 3—长兴组; 4—龙潭组; 5—构造蚀变体; 6—茅口组; 7—断层及编号; 8—金矿体及编号

1—First unit of Yelang Formation; 2—Changxing Formation; 3—Dalong Formation; 4—Longtan Formation; 5—alteration zone; 6—Maokou Formation; 7—fault and its number; 8—gold orebody and its number

表 1 黔西南水银洞金矿床含矿岩系元素含量平均值与未蚀变样品元素含量比值(单位: TiO₂、MnO 为%, 其他为 × 10⁻⁶)

Table 1 Ratio of elements of god-bearing rocks and normal rocks of Shuiyindong gold deposit in the southwestern Guizhou

(unit: TiO₂, MnO %; others × 10⁻⁶)

元素	含矿平均值/ 未蚀变样品				元素	含矿平均值/ 未蚀变样品			
	灰岩	泥灰岩	粘土岩	泥质粉砂岩		灰岩	泥灰岩	粘土岩	泥质粉砂岩
Au	79.80	55.14	69.33	82.50	Zr	1.15	1.34	1.32	0.70
Sc	1.06	1.14	1.15	0.50	Nb	1.32	1.42	1.29	0.68
TiO ₂	1.25	1.04	1.19	0.62	Mo	1.59	6.56	1.42	1.48
V	0.65	1.46	1.23	0.66	Cd	1.87	2.76	2.67	6.31
Cr	0.55	2.32	1.01	0.54	Sn	0.57	2.20	1.79	0.97
MnO	1.25	1.69	0.45	1.20	Sb	2.91	7.95	11.73	32.80
Co	1.30	1.41	1.86	0.62	Cs	1.94	1.39	1.05	0.32
Ni	1.22	1.12	1.06	0.72	Ba	1.01	0.73	1.14	3.07
Cu	3.74	2.27	2.47	1.57	Hf	0.95	1.29	1.29	0.73
Zn	2.07	1.92	1.04	0.82	Ta	1.17	1.29	1.28	0.73
Ga	1.32	1.18	1.38	0.63	Tl	109.0	53.27	69.07	34.92
Ge	0.50	1.17	1.20	0.71	Pb	1.53	1.52	1.62	1.30
As	22.00	19.39	94.26	63.08	Th	0.96	1.04	1.21	0.79
Rb	1.60	1.14	1.51	0.87	U	0.70	3.34	1.47	2.01
Sr	0.25	0.60	0.51	0.86	REE	0.95	1.52	1.42	0.72
Y	0.84	1.61	1.31	0.74					

注: 中国科学院矿床地球化学重点实验室分析测试, 采用等离子质谱法分析。

且由于多数情况下黄铁矿内核(成岩成因)所占的体积比成矿期形成的砷黄铁矿环带要大的多, 使得

硫同位素值主要代表了成岩成因的黄铁矿的硫同位素组成, 并不能完全代表成矿流体中硫同位素组成。

表 2 黔西南水银洞金矿矿石中黄铁矿硫和铅同位素组成及有关参数

Table 2 The sulphur and lead isotopes analysis result of Shuiyindong gold deposit in the southwestern Guizhou

层位	$\delta^{34}\text{S}$ (‰CDT)	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	模式年龄(Ma)	φ	μ	$\Delta\beta$	$\Delta\gamma$
II e	-0.43	18.361	15.560	38.452	153	0.582	9.39	15.003	26.208
II f	-8.41	18.383	15.642	38.729	239	0.589	9.55	20.352	33.600
IIIa	5.72	18.304	15.540	38.501	169	0.583	9.36	13.699	27.515
IIIb(底板)	8.16	18.145	15.551	38.382	300	0.595	9.40	14.416	24.339
IIIb(下矿层)	27.17	17.942	15.560	38.158	457	0.610	9.44	15.003	18.361
IIIb(上矿层)	21.11	18.452	15.532	38.332	49.1	0.573	9.33	13.177	23.005
II f(平行样)	-8.64								

注: $\Delta\beta = \frac{\beta - \beta_M}{\beta_M}$, $\Delta\gamma = \frac{\gamma - \gamma_M}{\gamma_M}$; β = 样品的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; γ = 样品的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$; β_M = 地幔的 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ = 15.33; γ_M = 地幔的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ = 37.47; 测试单位: 宜昌地质矿产研究所同位素研究室。

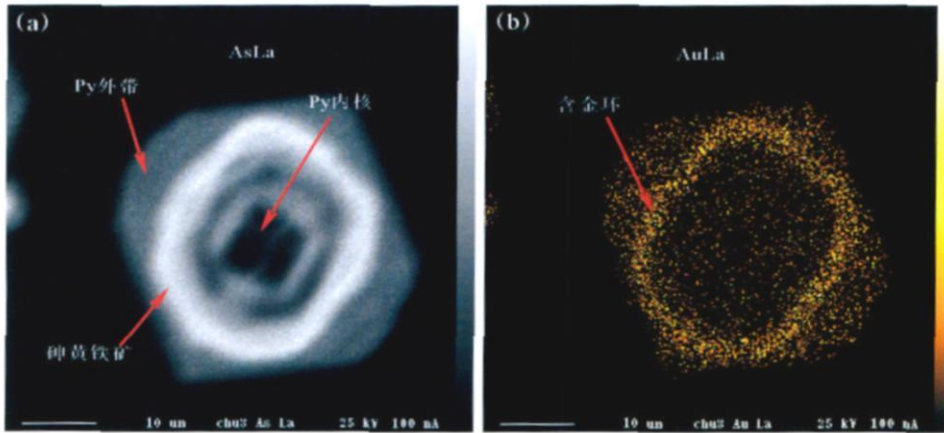


图 3 黔西南水银洞金矿床细粒黄铁矿的电子探针 X-ray 波谱 As(L α)(a)和 Au(L α)(b)成分扫描图像
Fig. 3 As La (a), Au La (b) composition scan image of pyrite through microprobe spectra scanning from Shuiyindong gold deposit in the southwestern Guizhou

水银洞金矿矿石热液黄铁矿铅同位素组成也有较大的变化(表 2), 黄铁矿 Pb 同位素组成 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 17.942 ~ 18.452, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 15.532 ~ 15.642, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 为 38.158 ~ 38.729。在 Cannon 铅同位素演化图中落在正常铅的小三角形范围内。已有研究表明, 黔西南金矿区既有正常铅, 也有异常铅(刘显凡等, 1997)。前者包括单一来源或多来源的铅混合后形成, 围岩地层或与地层密切相关的样品以异常型铅和以高放射成因铅为主(张乾等, 2000), 水银洞金矿矿石热液中黄铁矿铅同位素组成的变化反映成矿物质可能具有多来源或混合成因。

2.3 水银洞金矿床钐-钕同位素组成及成矿年代学研究

卡林型金矿床中缺少适合传统定年的矿物, 成矿时代一直未解决, 过去曾用过裂变径迹法、石英流体包裹体 Rb-Sr 法和黄铁矿 Pb-Pb 等方法确定成矿年龄, 得出的年龄在 80 ~ 170 Ma(Hu et al., 2003; 陈懋弘等, 2007), 变化范围偏大, 精确度不够。矿床

地质研究表明: 黔西南卡林型金矿区出露地表的断裂带或矿体上盘往往发育碳酸盐脉或雄黄(雌黄)-辉锑矿-碳酸盐脉。这种碳酸盐脉的大量发育, 可能暗示已知金矿床的深部曾经发生含 Au 热液与含铁碳酸盐岩地层或胶结物相互作用(去碳酸盐化)的地球化学过程, 它们可能是金矿成矿作用中去碳酸盐化过程最直接的宏观地质表达。本次研究采集了相关钻孔中与金矿直接相关的方解石和地表断裂中的金-雄黄-方解石脉进行研究(表 3)。

稀土元素分析结果表明, 与金矿成矿有密切关系的方解石脉和区域上与金矿无关的方解石脉有明显区别(Su et al., 2009)(表 3, 图 4、5)。与金矿成矿有密切关系的方解石脉钐、钕和铈同位素组成分析结果见表 4, 钐-钕同位素年龄计算结果见图 6。其结果表明: 水银洞层控超大型卡林型金矿成矿较可靠年龄为 135 ~ 145 Ma(早白垩世), 与区域岩石圈伸展的构造背景相对应(Su et al., 2009)。

表 3 黔西南水银洞金矿体中方解石脉稀土元素含量表($\times 10^{-6}$)

Table 3 Rare earth element data ($\times 10^{-6}$) for calcite samples from the Shuiyindong deposit in the southwestern Guizhou

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Ca108	0.43	1.77	0.45	3.33	2.38	1.08	3.99	0.7	3.07	0.49	1.05	0.1	0.57	0.07
Ca111	0.73	3.08	0.73	5.58	3.82	1.89	5.85	0.96	4.32	0.65	1.3	0.14	0.72	0.09
Ca116	0.18	0.68	0.15	1.05	0.48	0.19	0.57	0.1	0.44	0.08	0.21	0.02	0.14	0.02
Ca103	6.54	17.1	3.1	16.06	3.81	1.87	3.46	0.46	1.96	0.3	0.61	0.06	0.29	0.04
Ca117	0.63	2.1	0.4	2.4	0.95	0.41	1.51	0.26	1	0.14	0.22	0.02	0.12	0.02
Ca110	0.64	1.58	0.38	2.26	0.85	0.28	1.2	0.2	1.02	0.2	0.5	0.05	0.31	0.04
Ca105	1.66	3.96	0.71	3.5	0.85	0.6	0.95	0.12	0.51	0.09	0.21	0.02	0.1	0.01
Ca120	1.28	4.18	0.67	3.4	1.04	0.34	1.06	0.18	0.75	0.13	0.3	0.04	0.21	0.03
Ca121	0.99	3.46	0.59	3.16	1	0.37	1.16	0.18	0.89	0.15	0.35	0.04	0.23	0.03
Ca112	0.09	0.32	0.07	0.46	0.22	0.09	0.32	0.06	0.29	0.05	0.12	0.01	0.07	0.01
Ca114	0.67	0.25	0.2	0.99	0.21	0.07	0.24	0.03	0.16	0.03	0.07	0.01	0.05	0.01
ZK1648-14	0.45	0.89	0.17	0.95	0.3	0.12	0.46	0.08	0.36	0.07	0.14	0.02	0.09	0.01
ZK3101-22	0.17	0.55	0.12	0.81	0.81	0.17	0.43	0.07	0.31	0.05	0.1	0.01	0.05	0.01
ZK2002-31	0.21	0.7	0.16	1.23	0.32	0.47	2.72	0.64	3.37	0.55	1.02	0.09	0.47	0.07
NN-03	2.06	3.1	0.49	2.357	0.565	0.182	0.961	0.171	1.009	0.221	0.609	0.085	0.5	0.074
NN-04	0.63	1.26	0.22	1.13	0.339	0.0178	0.45	0.064	0.361	0.068	0.149	0.018	0.087	0.011
NN-05-1	2.3	4.41	0.71	3.368	0.795	0.227	1.018	0.18	0.971	0.203	0.569	0.078	0.449	0.071
NN-05-2	1.49	2.47	0.34	1.234	0.2	0.046	0.192	0.032	0.189	0.036	0.103	0.015	0.087	0.013

表 4 黔西南水银洞金矿方解石脉钐、钕和锶同位素组成分析结果

Table 4 Sm, Nd and Sr isotope compositions of calcite veins from the Shuiyindong deposit in the southwestern Guizhou

样品编号	Sm ($\times 10^{-6}$)	Nd ($\times 10^{-6}$)	$^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ (atomic)	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ (2σ)(atomic)	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (2σ)
Ca108	2.3002	3.0752	0.4522	0.512762 \pm 6	0.707083 \pm 10
Ca111	3.8689	5.5334	0.4227	0.512735 \pm 5	0.707203 \pm 21
Ca116	0.4683	1.0775	0.2628	0.512593 \pm 9	0.707482 \pm 13
Ca103	3.6978	14.5286	0.1539	0.512496 \pm 7	0.707251 \pm 25
Ca117	0.9178	2.2416	0.2475	0.512579 \pm 6	0.707991 \pm 11
Ca110	0.8437	2.1825	0.2337	0.512567 \pm 8	0.707217 \pm 13
Ca105	0.8203	3.2117	0.1544	0.512497 \pm 8	0.707152 \pm 16
Ca120	0.9776	3.2226	0.1834	0.512523 \pm 12	0.707125 \pm 13
Ca121	0.9602	2.8964	0.2004	0.512537 \pm 7	0.707143 \pm 10
Ca112	0.2227	0.457	0.2946	0.512064 \pm 6	0.707729 \pm 8
Ca114	0.2044	0.9306	0.1328	0.511922 \pm 15	0.707614 \pm 10
ZK1648-14	0.2869	0.8801	0.1971	0.511978 \pm 20	0.708003 \pm 24
ZK3101-22	0.812	0.9904	0.4957	0.512241 \pm 18	0.707610 \pm 11
ZK2002-31	0.39	0.9459	0.2493	0.512024 \pm 7	0.706620 \pm 18

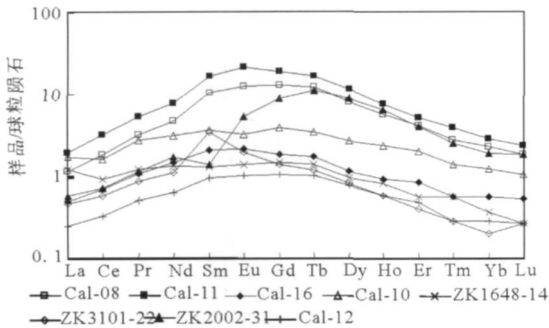


图 4 黔西南水银洞金矿床与 Au 矿化有关的方解石脉稀土元素球粒陨石标准化型式

Fig. 4 The chondrite-normalized REE patterns for the calcite veins from the Shuiyindong deposit in the southwestern Guizhou

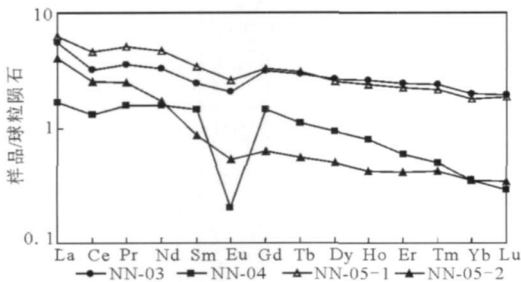


图 5 黔西南水银洞金矿床区域上与金矿无关的方解石脉稀土元素球粒陨石标准化型式

Fig. 5 The chondrite-normalized REE patterns for the calcite veins from non-gold mineralization in the southwestern Guizhou

2.4 包裹体地球化学

我们采集了 IIIc 和 IIId 矿层间断层控制的角砾岩型矿石中之石英脉或团块样品和 ZK002 钻孔 147.8 m 处矿层中之石英脉样品,进行了系统的研究。按流体包裹体的成因可分为原生和次生流体包裹体两大类。石英中原生流体包裹体以孤立状分布、负晶形为其特征,一般大小(直径)5~60 μm ,多数为 10~30 μm ;次生流体包裹体则呈不规则状或负晶形,一般大小 5~50 μm ,多数 10~50 μm ,通常

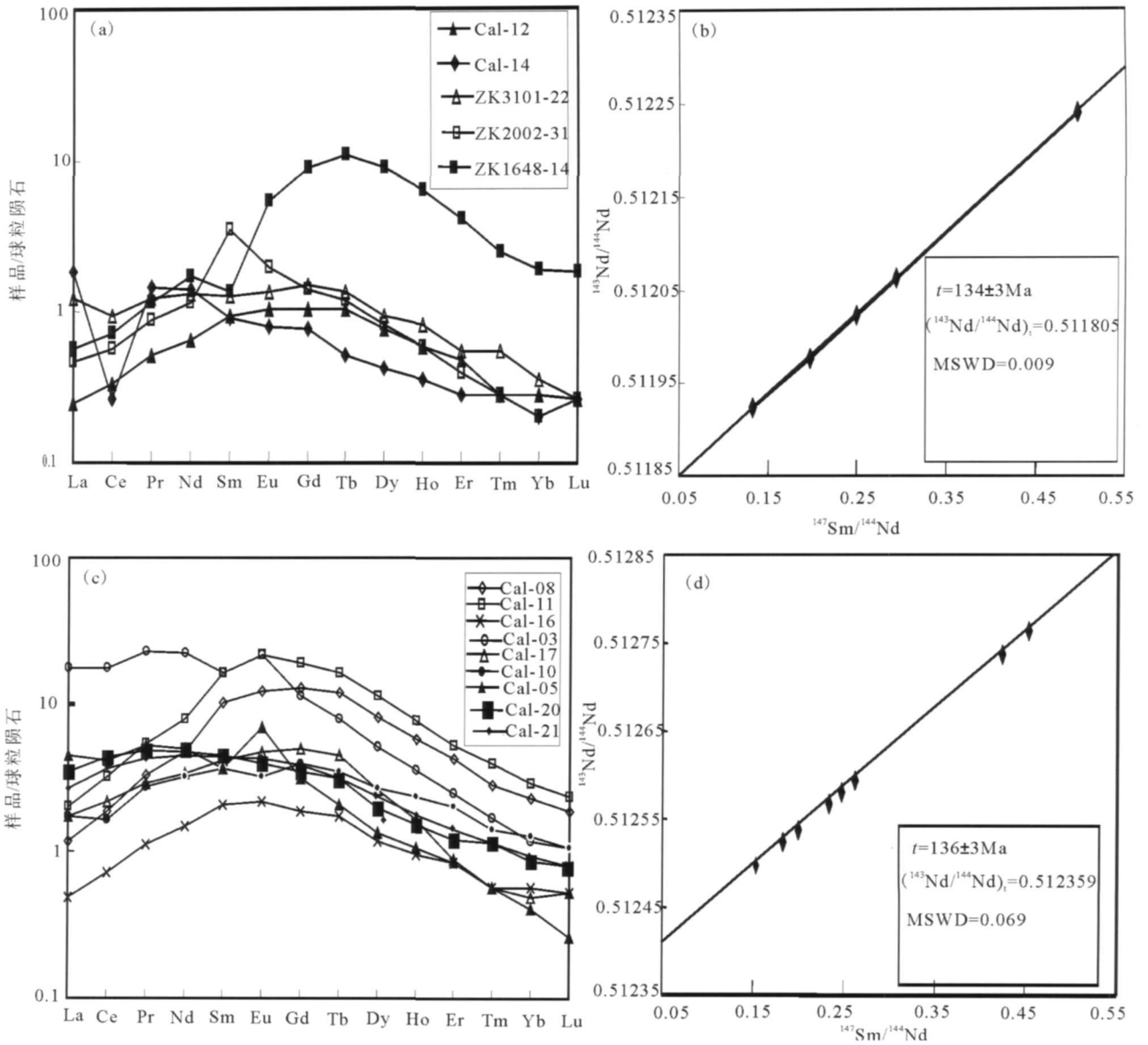


图 6 黔西南水银洞金矿方解石脉 REE 模型(a,c)和对应的 Sm-Nd 同位素年龄(b,d)(据 Su 等, 2009)

Fig. 6 The chondrite-normalized REE patterns (a and c) and corresponding Sm-Nd isochron ages (b and d)

for the calcite veins from the Shuiyindong deposit (after Su et al., 2009)

(a), (b)—钻孔中与金矿直接相关的方解石脉样品; (c), (d)—地表断裂中的金-雄黄-方解石样品

(a), (b)—Samples from drill holes; (c), (d)—samples from Au-realgar-calcite vein in fault

沿次生裂隙或曲面分布, 但次生裂隙中常见黄铁矿、毒砂、辉锑矿、雄黄(雌黄)等硫化物, 反映了早期石英形成之后的多次张裂。这些沿次生裂隙分布的流体包裹体应保存成矿流体的信息。

按室温(25 °C)下包裹体的相态特征以及冷冻过程中相的变化, 可划分为液态 CH₄-N₂-CO₂ (L_{CH₄+N₂+CO₂)、气相 CH₄-N₂-CO₂ (V_{CH₄+N₂+CO₂)、气液相 V_{CH₄+N₂+CO₂+H₂O}、富 CO₂ 流体包裹体、气液相(H₂O-NaCl)流体包裹体五大类。这些流体包裹}}}

体常共生在一个平面内或裂隙中, 暗示它们之间曾经历了不混溶的过程(图 7)。

液态 CH₄-N₂-CO₂ (L_{CH₄+N₂+CO₂) 包裹体(图 8): 主要为原生流体包裹体, 多呈孤立状、负晶形, 大小 10~40 μm。在加热过程中该类包裹体易发生爆裂, 表明其内压较大。}

气相 CH₄-N₂-CO₂ (V_{CH₄+N₂+CO₂) 包裹体(图 9): 该类包裹体通常为半透明—黑色, 多呈孤立状、负晶形, 大小 10~40 μm。显微测温学与激光 Raman 研}

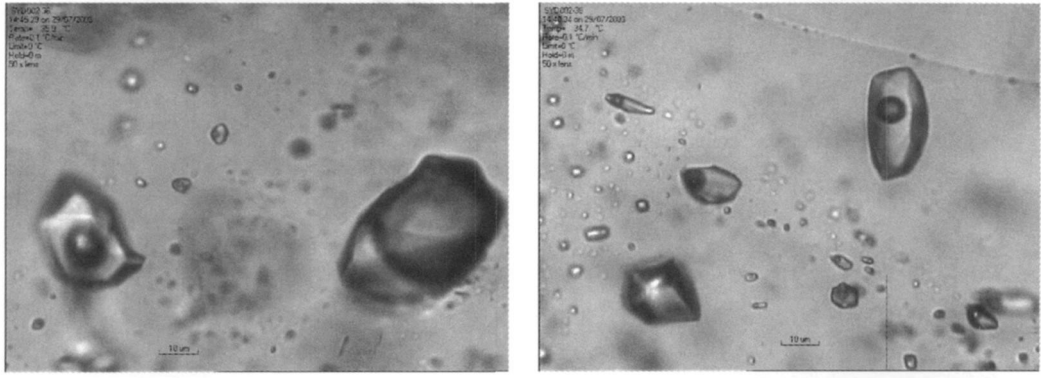


图 7 不同类型的原生流体包裹体常共生在一个平面内或裂隙中, 显示了流体的不混溶特征

Fig. 7 Various primary fluid inclusions intergrowth in a plane or cranny, showing the fluid immiscibility feature

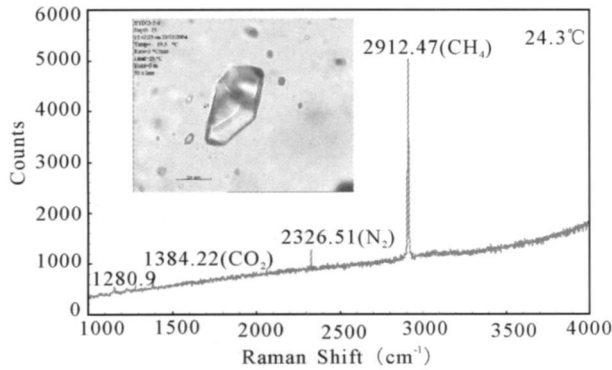


图 8 液态 CH₄-N₂-CO₂ (L_{CH₄+N₂+CO₂) 包裹体及激光拉曼光谱}

Fig. 8 Liquid CH₄-N₂-CO₂ (L_{CH₄+N₂+CO₂) inclusion and the laser Raman spectra}

室温 (25 °C) 下, 该类流体包裹体通常见一个气相 (V) 和液相 (L)。通过激光 Raman 研究, 则发现该类包裹体中的气相成分主要为 CH₄、N₂ 和 CO₂。

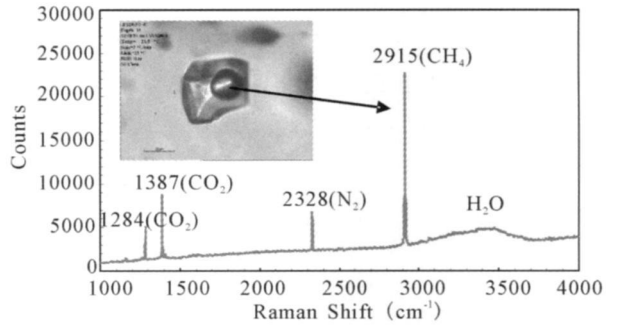


图 10 气液相 V<sub>CH₄+N₂+CO₂+H₂O 包裹体及激光拉曼光谱
Fig. 10 Gas-liquid V_{CH₄+N₂+CO₂+H₂O inclusion and the laser Raman spectra}</sub>

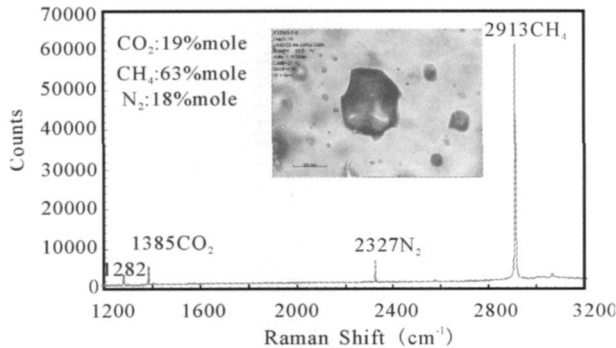


图 9 气相 CH₄-N₂-CO₂ (L_{CH₄+N₂+CO₂) 包裹体及激光拉曼光谱}

Fig. 9 Gas CH₄-N₂-CO₂ (L_{CH₄+N₂+CO₂) inclusion and the laser Raman spectra}

究, 发现该类包裹体中的气相以甲烷(CH₄)为主, 并含有较高的 N₂ 和 CO₂。

气液相 V_{CH₄+N₂+CO₂+H₂O 包裹体(图 10): 在}

对近 200 个流体包裹体显微测温结果表明, 主成矿期 V_{CH₄+N₂+CO₂+L 相流体包裹体的均一温度为 200~220 °C, 盐度 5%~6% NaCl; 与 V_{CH₄+N₂+CO₂+L 共存的富 CO₂相流体包裹体, 也显示相同的均一温度范围(200~220 °C), 可能暗示成矿流体经历了由相对还原到氧化的演化过程, 成矿流体物理化学条件的变化, 可能是导致金沉淀的重要因素。初步压力计算表明, 成矿流体的具有很高的压力(160 ± 40 MPa), 相当于静岩压力的 6.4 ± 1.6 km 深, 而黔西南地区三叠纪、侏罗纪、白垩纪的地层厚度约为 4 km, 表明 p_{fluid} > p_{lithostatic}, 显示了超压流体 (overpressured fluid) 的性质。在相对封闭的构造体系(如逆冲断裂), 成矿流体的异常超压能够驱动流体侧向运移与渗透, 由于较大的压力, 甚至使岩石发生水动力破碎, 从而导致一定范围内围岩地层(不}}

纯碳酸盐岩)的硅化、白云石化等热液蚀变,形成水银洞式断裂-地层层位复合控矿的空间分布格局,同时,超压流体的快速运移与释放,可能是金沉淀的重要成矿机制。因此,广泛的硅化、白云石化等热液蚀变是寻找水银洞式卡林型金矿的重要野外找矿标志。

3 成矿模式

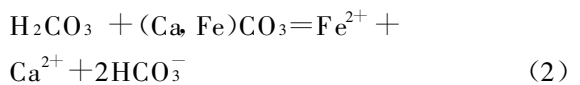
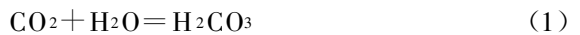
通过地质地球化学的综合研究和成矿作用有关问题的讨论,水银洞金矿床成矿模式可概括为(夏勇,2005):

印支晚期至燕山早期的构造运动结束本区盆地演化历史,地层褶皱、断裂,深大断裂和岩浆活动的发展,异常高地温,较深的埋藏,使地壳深部和上地幔形成了富含挥发份活动元素的成矿流体,并浸取了基底和深部富 Au 和 Hg、Sb、As、Tl 等的地层岩石(Hu et al., 2003)中的成矿元素而成为超压成矿流体。此时由于地壳以挤压封闭的应力状态,超压成矿流体被封存在深部与岩石圈处于强力平衡状态中。燕山晚期本区处于拉张伸展状态,偏碱性超基性岩脉(筒)的贯入,基底早已有的断裂再度复活,并与盖层断裂一起切穿地壳,破坏了超压成矿流体的封存条件,断裂系统就象抽水机一样,汇聚成矿流体进入地壳上部,在有利部位由于成矿条件的骤变, Au 被快速沉淀富集成金矿床, Hg、Sb、As、Tl 等成矿元素也在适应的部位沉淀成矿,造成我们今天所见到的黔西南地区卡林型金矿成矿在区域上 Au-Hg-Sb-As-Tl 密切共生或伴生,而各自矿床又有分异的现象。此时,在水银洞金矿床,由于灰家堡短轴背斜的形成和上二叠统龙潭组粘土岩→生物屑灰岩→粘土岩的有利岩性组合,汇聚了沿龙潭组底部的岩溶不整合面进入背斜核部的富含 CH₄、N₂ 和 CO₂ 挥发份和 Au 的超压成矿流体,其流体中不含铁(苏文超等,2006), Au 在成矿流体中可能是以 Au-S 配合物形式存在(Seward, 1973; Hofstra and Cline, 2000),由于较高的压力和挥发份,使成矿流体在有利岩性的组合中的生物屑砂屑灰岩中作一定程度的侧向运移与渗透,有时超压流体还对围岩造成水动力破坏。随着构造的发展,断裂破坏了由背斜和有利岩性组合构成的圈闭,使流体中的挥发份发生快速逃逸,流体的压力骤降,还原性降低,以及地层铁、其他某些组分、大气降水的局部和部分加入,造成成矿条件巨大反差,迅速向有利于 Au 沉淀方向转变, Au 随含砷黄铁矿的快速结晶(部分是在沉积成因

的黄铁矿内核上结晶)或细粒毒砂而快速沉淀下来。由于断层的贯通和剖面上有利岩性组合的重复出现,致使水银洞金矿床具有多层矿体产出(图 11)。而成矿热液中的 Hg 和 Tl 因具有更高的活动性,而在金矿外围的高角度张扭性断层中形成矿床。出现了水银洞矿区背斜核部和低角度压扭性断层控金和稍晚的高角度张扭性断层控汞或汞-铊的成矿规律。

研究表明(苏文超等,2006),成矿过程经历了去碳酸盐化—金和硫化物沉淀—碳酸盐脉形成三部曲:其形成过程的化学反应式如下:

去碳酸盐化:



金和硫化物沉淀:

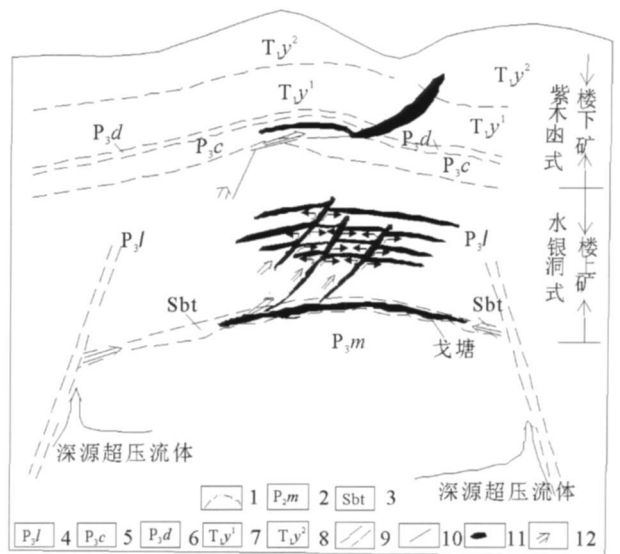
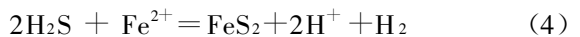
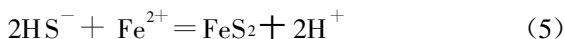


图 11 黔西南水银洞层控卡林型金矿床“两层楼”矿体分布及成矿模式示意图

Fig. 11 The “Two Floors” of gold orebodies and metallogenic model of the Shuiyindong stratabound carlin-type gold deposit in the southwestern Guizhou
 1—地层界线; 2—茅口组; 3—构造蚀变体; 4—龙潭组; 5—长兴组; 6—大隆组; 7—夜郎组一段; 8—夜郎组二段; 9—深大断裂; 10—断层; 11—金矿体; 12—矿液运移方向
 1—Stratum borderline; 2—Mao Kou Formation; 3—alteration zone; 4—Longtan Formation; 5—Changxin Formation; 6—Dalong Formation; 7—first unit of Yelang Formation; 8—second unit of Yelang Formation; 9—deep and large fault; 10—fault; 11—gold ore body; 12—migration direction of ore forming fluid

碳酸盐脉形成:



① 含 Au 热液本身的弱酸性使赋矿围岩中的含 Fe 碳酸盐矿物溶解而释放 Fe 和 Ca 进入热液体系[反应(1)、(2)],即去碳酸盐化;② 热液中 $\text{Au}(\text{HS})_2^-$ 之在相对还原的条件下分解,使 H_2S 和 HS^- 进入热液体系[反应(3)],两者与含铁碳酸盐矿物溶解而释放的 Fe^{2+} 结合形成黄铁矿(硫化物化),并产生 H^+ (酸性)[反应(4)、(5)]。硫化物化过程产生的酸性环境,可以进一步促使围岩中的含 Fe 碳酸盐矿物溶解,并释放大量的 Fe^{2+} 进入热液体系,硫化物化最终导致热液中 Au 的过饱和和沉淀形成自然金颗粒,并聚集在含砷黄铁矿颗粒表面或其边缘;③ 含铁碳酸盐矿物溶解而释放的 Ca[反应(6)] 则形成晚期方解石脉,伴随或切穿含金黄铁矿细脉。因此,含 Fe 碳酸盐赋矿围岩是形成高品位、大型卡林型金矿床最重要的控制因素之一,与去碳酸盐化有关的碳酸盐脉可能是寻找深部隐伏卡林型金矿体的重要指示标志之一。

4 成矿预测研究及其成果

4.1 主要找矿标志

(1) 构造标志:矿床依附于区域性短轴状灰家堡背斜轴部高点位置。黔西南地区普遍存在的 Sbt 及背斜构造是良好的构造找矿标志。背斜轴部易于形成断裂而成为深部含矿热液向上运移的通道或矿体就位场所。

(2) 蚀变标志:广泛的去碳酸盐化、细粒浸染状黄铁矿化、硅化、白云石化是找金的蚀变标志,凡有金矿化的地方,都具有这几种蚀变组合。与金矿化有关的碳酸盐脉是深部去碳酸盐化过程在地表的表现形式,是寻找深部隐伏型卡林型金矿床的最重要找矿标志之一!

(3) 地层岩性标志:海陆交互的龙潭组地层中的碳酸盐岩是找寻类似于水银洞金矿床的地层岩性标志。特别是厚度较薄的碳酸盐岩与厚度大的碎屑岩不等厚互层的组合最为有利。含 Fe 碳酸盐岩是形成高品位、大型金矿床最重要的赋矿围岩。

(4) 地球化学标志: Au、Hg、As、Sb 元素组合沿构造轴线分布,指示着成矿元素 Au 等在有利构造带的富集规律。Au 与 Hg、As、Sb 之间往往表现为“不在其中,不离其踪”特点。

4.2 成矿信息提取及成矿预测研究成果

矿床受构造和有利岩性组合作用所控制。背斜核部有利岩层中形成以碳酸盐岩矿石类型为特征的层状矿体,在低角度断层和不整合面破碎带中形成以角砾岩型矿石为特征的断裂型矿体;而 Hg 矿或 Hg-Tl 矿则产于 Au 矿床外围高角度断裂破碎带中。明确了 P_2m 与 P_3l 之间不整合界面作为含矿热液远距离运移的通道, Sbt 为区域性构造热液活动的产物,是金矿体产出的重要位置。对这些成矿规律和 Au-Hg-As-Tl 有规律的共生分异的认识和机制研究,为深部成矿信息提取及层控卡林型金矿隐伏矿床成矿异常识别提供了理论依据,为黔西南区域隐伏金矿找矿提供了方向。

根据该项目提出的找矿标志及建立的成矿和找矿模型,预测水银洞金矿区东段沿背斜轴部找矿前景良好,提出了沿灰家堡背斜轴部向东延展区域进行找矿勘查,探矿工程以穿过 Sbt, 进入正常茅口组灰岩终止,寻找层控金矿体为目标的成矿预测方案。通过这几年与贵州省地质矿产勘查开发局 105 地质大队和贵州紫金矿业股份有限公司建立密切合作进行找矿靶区验证和勘查,在水银洞金矿区东段的雄黄岩和簸箕田成矿远景区发现了埋深 300~800 m 以下金矿体,最深探矿钻孔深度已达 1411.08 m,在 1300 m 以下不整合面上的构造蚀变体及相应赋矿层位中仍然见矿,使水银洞金矿新增储量数十吨,并且预示该类型金矿找矿远景巨大,已经成为黔西南第一个超大型层控卡林型金矿床。

参 考 文 献

- 陈懋弘,毛景文,屈文俊,等. 2007. 贵州贞丰烂泥沟卡林型金矿床含砷黄铁矿 Re-Os 同位素测年及地质意义. 地质论评, 53(3): 371~382.
- 刘显凡,刘家军,朱赖民,卢秋霞. 1997. 滇黔桂微细浸染型金矿同位素组成及应用. 矿物岩石地球化学通报, 16(3): 178~182.
- 苏文超,张弘强,夏斌,张兴春,胡瑞忠,周国富,夏勇. 2006. 贵州水银洞卡林型金矿床首次发现大量次显微—显可见自然金颗粒. 矿物学报, 26(3): 257~260.
- 夏勇. 2005. 贵州贞丰县水银洞金矿床成矿特征和金的超常富集机制研究. 中国科学院研究生院(地球化学研究所).
- 张乾,潘家永,邵树勋. 2000. 中国某些金属矿床矿石铅来源的铅同位素诠释. 地球化学, 29(3): 231~238.
- Hofstra A H, Cline J S. 2000. Characteristics and models of carlin-type gold deposits. In: Hagemann S G, Brown P E, eds. Gold in 2000. Reviews in Economic Geology, 13: 163~220.
- Hu Ruizhong, Su Wenchao, Bi Xianwu, Tu Guangchi, Hofstra A H. 2003. Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China. Mineralium Deposita, 37: 378~392.

Seward T M. 1973. The complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 37: 379 ~ 399.

Calcite Sm-Nd isochron age of the Shuiyindong Carlin-type gold deposit, Guizhou, China. *Chemical Geology*, 258: 269 ~ 274.

Su Wenchao, Hu Ruizhong, Xia Bin, Xia Yong, Liu Yuping. 2009.

Metallogenic Model and Prognosis of the Shuiyindong Super-Large Stratabound Carlin-Type Gold Deposit, Southwestern Guizhou Province, China

XIA Yong¹⁾, ZHANG Yu¹⁾, SU Wenchao¹⁾, TAO Yan¹⁾,
ZHANG Xingchun¹⁾, LIU Jianzhong²⁾, DENG Yiming³⁾

1) *State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, 550002;*

2) *Geological Brigade 105, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Guiyang, 550018;*

3) *Guizhou Zijin Mining Stock Company Limited, Zhenfeng, Guizhou, 562200*

Abstract

The Shuiyindong Cu deposit is one of the largest (more than 100 tons of Au) and highest grade (more than 7×10^{-6} to 10×10^{-6}), stratabound carlin-type gold deposits in southwestern Guizhou Province, China. The deposit is controlled by both the structure and favorable lithology. It is characterized by the low temperature mineralization and country rocks' alterations, such as decarbonation, silicification, sulfidation and argillization, and shows an Au-As-Hg-Tl assemblage. Research shows that mineralized fluid is characterized by low temperature and salinity, and high pressure and volatile, with a homogenization temperature of $220 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm$, a salinity of $6\% \text{ NaCl} \pm$ and a pressure of $160 \pm 40 \text{ Ma}$. All the evidence suggests that ore-forming material originated from deep pluton. Ore-forming fluid driven by high pressure and volatile components migrates from depth to the core section of ore-controlling anticline. The fast escape of structural volatiles and decrease of pressure speed up the unloading of ore-forming fluid and gold precipitation, thus forming the super-large stratabound carlin-type gold deposit. Based on prospecting criteria and mineralization and prospecting models, this study made a success in mineralized prognosis: Au reserves in the Suiyindong Cu deposit increases by tens of tons, showing that it becomes a super-large stratabound carlin-type gold deposit. Our research also suggests a bright prospect of exploration for the deposits of this kind.

Key words: stratabound carlin-type gold deposit; metallogenic model; metallogenic prognosis; Shuiyindong; southwestern Guizhou